

文章编号: 1001-3806(2005)01-0018-03

## 用温度控制可调谐激光器波长稳定的方法

朱 震<sup>1</sup>, 陈良友<sup>1</sup>, 李 华<sup>2</sup>, 邢 晖<sup>2</sup>

(1. 河南洛阳 061 信箱 511 号, 洛阳 471003 2 河南洛阳 059 信箱 1 号, 洛阳 471000)

**摘要:** 介绍了可调谐半导体激光器在光通信领域的应用及其工作原理。重点讨论了 SSG-DBR 可调谐激光器的结构、工作原理, 以及波长稳定控制方法。提出了一种新的基于温度反馈的波长稳定控制方法, 使可调谐激光器的输出在 20°C ~ 70°C 范围内的波长漂移小于 1nm, 边模抑制比优于 35dB。该方法简单、可靠, 将会对可调谐激光器在全光网络中的应用起到一定的推动作用。

**关键词:** 可调谐激光器; 波长控制; 稳定; 布喇格光栅

**中图分类号:** TN248.4 **文献标识码:** A

### Wavelength stabilization scheme for tunable laser diode based on temperature feedback

ZHU Zhen<sup>1</sup>, CHEN Liang-you<sup>1</sup>, LI Hua<sup>2</sup>, XING Hui<sup>2</sup>

(1. P. O. Box 061-511, Luoyang He'nan, Luoyang 471003, China 2. P. O. Box 059-1, Luoyang He'nan, Luoyang 471000, China)

**Abstract** A general discussion on tunable semiconductor lasers for high speed optical communication is presented with emphasis on SSG-DBR lasers. Then a novel temperature feedback control scheme for frequency stabilization is described. Using bias current control, absolute wavelength stabilization within 1nm has been achieved with SMSR better than 35dB in the temperature range of 20°C ~ 70°C. This simple, effective stabilization method will play an important role in obtaining highly reliable light sources for optical network.

**Key words** tunable semiconductor laser; wavelength control; stabilization; Bragg grating

## 引 言

当前, 固定波长二极管激光器在光通信领域得到了广泛的应用。相对于固定波长激光器, 可调谐激光器是指一定范围内波长(振荡频率)连续可调的二极管激光器。

可调谐激光器的工作原理将在下文中加以讨论。其应用分两类, 静态和动态。静态应用是指单个可调谐激光器为密集波分复用(DWDM)系统中多个定波长光源提供备份。这样可以降低成本、减少系统复杂程度、提高系统可靠性。动态应用是指可调谐激光器支持全光网中的波长动态分配, 从而避免了大量的、利用率不高的定波长激光光源, 同样降低了系统的复杂程度。此外, 具有一定调谐速度的可调谐激光器能够支持未来的光分组交换。因此, 随着对波分复用以及下一代全光网络技术的深入研究, 人们普遍认为, 可调谐激光器将取代定波长激光器成为未来光通信系统中

的主要光源器件。

上述应用中首先要求可调谐激光器的波长调谐精度优于波道间隔的 10%, 边模抑制比(side mode suppression ratio, SMSR)优于 30dB。此外, 对可调谐激光器的光谱特性、调谐范围、调谐速度、调谐的可靠性也有一定的要求。所有这些因素中波长的稳定输出是关键: 稳定性越好, 波长调谐精度也越高, 系统中波道间隔越小, 系统也就有了更大的传输容量。因此研究可调谐激光器的波长稳定控制方法具有非同寻常的意义。

### 1 可调谐激光器原理

典型的可调谐激光器为三区 DBR 结构<sup>[1, 2]</sup>, 即具有有源增益区和谐振腔的源二极管, 波长稳定输出工具和用来改变和选择波长的调节机构。其调谐范围由下式决定:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{\Delta n}{n} \quad (1)$$

式中,  $\Delta n$  为通过注入电流得到的最大折射率变化值。典型的调谐范围为 5nm ~ 10nm。

除了垂直腔体表面发射激光器(VCSEL), 源二极管通常采用 DFB 或 DBR 结构, 并附加衍射光栅, 如布

作者简介: 朱 震 (1970-), 男, 学士, 长期从事光电子技术应用研究。

E-mail: lyzhuzhen@163.com

收稿日期: 2004-02-03 收到修改稿日期: 2004-03-25

喇格光栅或布喇格反射器,如图 1 所示。衍射光栅的作用是为光信号振荡提供反馈,并根据光栅间距选择输出波长。波长的稳定输出是通过采用某种波长锁定器或在反馈控制回路中使用标准具来实现的。调节机构有多种形式,通常根据调节机构的不同将其分类为温度控制、电流控制和机械控制,包括微机电系统(MEMS)。

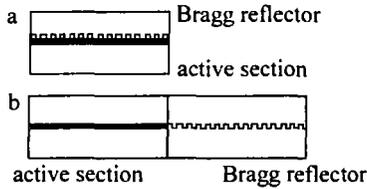


Fig 1 Structure for tunable laser diode  
a— for DFB b— for DBR

其中温控技术是通过改变激光器有源区折射率,从而改变激光器输出波长的。该技术简单,但调谐速度慢,可调带宽窄,只有几个纳米<sup>[3]</sup>。

电控技术是通过改变注入电流的方式实现波长的调谐,主要包括采样光栅 DBR (SG-DBR) 和辅助光栅定向耦合背向取样反射 (GCSR) 激光器,如图 2 所示。该类型的激光器由前布喇格光栅区、有源区、相位校正区和后布喇格光栅区组成。通过电极分别对有源区、布喇格光栅区、相位校正区注入不同的电流,其中有源区提供增益,光栅区选择纵模,相位区调节相位,从而使输出激光的波长与光栅的布喇格波长一致,实现波长调谐。这种结构的可调谐激光器有较快的调谐速度(纳秒级),较高的输出功率和较宽的调谐范围(30nm 左右)<sup>[4]</sup>。

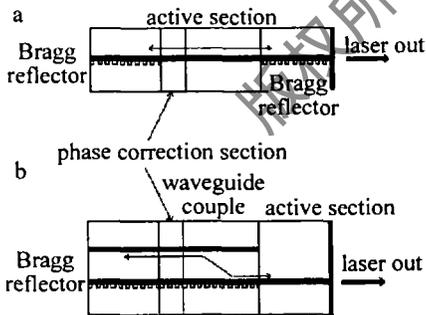


Fig 2 Tunable laser diode based on current control  
a— for SG-DBR b— for GCSR

机械控制主要是基于 MEMS 技术完成波长的选择,具有较宽的调谐范围、较高的输出功率,但调谐时间较长。基于机械控制技术的主要有 DFB 外腔激光器 (ECL) 和 VCSEL 等结构。

## 2 基于温度控制技术的波长稳定控制方法

如上所述,可调谐激光器输出波长的稳定控制具有非同寻常的意义。而可调谐激光器的热稳定性较差,在 100℃ 的工作温度范围内,非制冷情况下其波长

漂移约 10nm,而采用外部制冷的方法势必增加系统的复杂程度,进而带来一系列的问题。因此,如何提高非制冷条件下可调谐激光器的热稳定性成了应用过程中的关键问题<sup>[5]</sup>。

热稳定性包括输出激光的波长稳定和模式稳定。其中,波长的改变可以通过改变注入电流实现,而反馈信号由比较滤光器产生,如 Fabry-Perot 标准具<sup>[6]</sup>,光纤布喇格光栅<sup>[7,8]</sup>,或阵列波导光栅 (AWG)<sup>[9]</sup>。反馈信号的改变控制注入电流的改变,使输出激光波长与滤光器的波长一致。

除了波长稳定控制,还应引入模的稳定控制,否则会产生模跳。模式稳定的关键在于提高输出激光的边模抑制比 (SMSR)。可以通过 SMSR 与输出光功率的关系建立反馈回路<sup>[10]</sup>,也可以利用 SMSR 与有源区电压的相关性建立回路,提高 SMSR<sup>[5]</sup>。

当前的波长稳定控制方法包括使用外部反馈锁定波长,然而该方法仍然使用珀耳帖效应 (Peltier effect) 制冷来稳定波长<sup>[11]</sup>。

本文中提出了非制冷条件下大温度范围波长稳定控制的新方法,使用测温元件、频谱仪、控制计算机构成控制回路,而不再使用昂贵的珀耳帖效应温度控制器。

### 2.1 实验结构

实验用可调谐 DBR 激光器为三区结构,由有源区、光栅区以及相位校正区组成 (见图 3)。

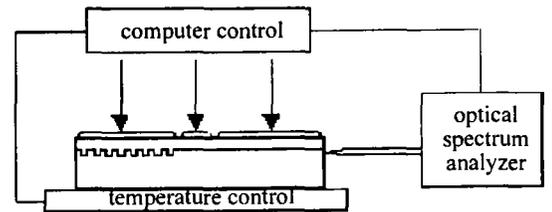


Fig 3 Experiment setup

实验中,热敏电阻紧贴激光器的下部,所测得的温度变化输入控制计算机,由计算机改变光栅电流,以保持输出波长的稳定。控制的关键是一个温度-电流-激光输出关系查寻表。使用频谱仪实时监视输出光波长、功率和 SMSR,综合频谱仪测得的光功率及 SMSR,由计算机改变注入电流,以提高输出激光的 SMSR,保持模式稳定。

### 2.2 实验结果

设定整个装置的温度变化范围为 20℃ ~ 70℃,其波长变化如图 4 所示。可以看出,随着温度的变化,未进行波长稳定控制时,波长由 1556nm 漂移至 1564nm,而引入波长稳定控制后,波长基本稳定在 1557nm ± 0.3nm。

SMSR 与温度的关系如图 5 所示。可以看出, SMSR 基本优于 40dB,只是在高温区,由于增益的下降

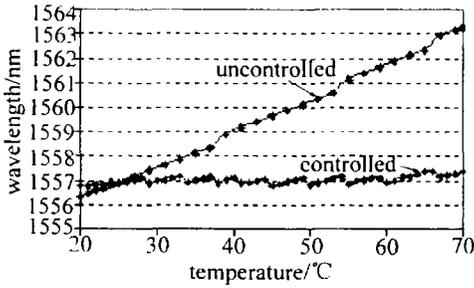


Fig 4 Wavelength versus temperature

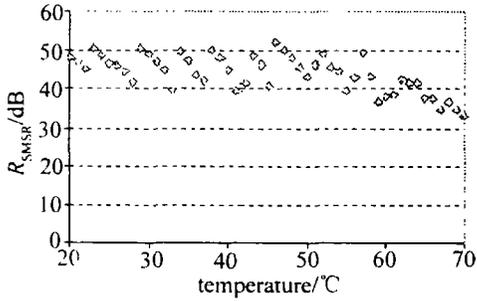


Fig 5 SMSR versus temperature

稍有恶化,但仍优于 35 dB。

### 3 结论

使用温度反馈对非制冷可调谐激光器进行波长稳定控制,温度漂移在 1nm 以内,边模抑制比优于 35dB,并且结构简单,工作可靠。该方法对可调谐激光器的应用具有重要意义。

### 参考文献

- [1] KOBAYASHI K, MIYANO I Single frequency and tunable laser diodes [J]. IEEE J Lightwave Technol 1988, 6(11): 1623~1633
- [2] AMANN M C, BUUS J Tunable laser diodes [M]. Nowood M A: Artech House, 1998 53~68.
- [3] SAITO S, YAMAMOTO Y. Direct observation of brentzian line width shape of semiconductor laser and line width reduction with external grating feedback [J]. Electron Lett 1981, 17(3): 325~327.
- [4] OHTSU M, TABUCHI N. Electrical feedback and its network analysis for line width reduction of a semiconductor laser [J]. IEEE J Lightwave Technol 1988, 6(3): 357~369.
- [5] SARLET G, MORTIER G, BAETS R. Control of widely tunable SSG-DBR lasers for dense wavelength division multiplexing [J]. IEEE J Lightwave Technol 2000, 18(8): 1128~1138
- [6] WOODWARD S L, MIZRAHIV, KOCH T L *et al* Wavelength stabilization of a DBR laser using an in-fiber Bragg filter [J]. IEEE Photon Technol Lett 1993, 5(6): 628~630
- [7] PARK Y, LEE S T, CHAE Ch J A novel wavelength stabilization scheme using a fiber Bragg grating for WDM transmission [J]. IEEE Photon Technol Lett 1998, 10(10): 1446~1448
- [8] ISHIIH, KANO F, YOSHIKUNI Y *et al* Mode stabilization method for superstructure grating DBR lasers [J]. IEEE J Lightwave Technol, 1998, 16(3): 433~442
- [9] WOODWARD S L, KOCH T L, KOREN U. A control loop which ensures high side mode suppression ratio in a tunable DBR laser [J]. IEEE Photon Technol Lett 1992, 4(5): 417~419
- [10] WADNALL S T, LINDSAY A C. DFB semiconductor diode laser frequency stabilization employing electronic feedback and Bragg grating Fabry-Perot interferometer [J]. IEEE Photonics Technol Lett 1999, 11(11): 1357~1359

• 简 讯 •

### 《正交偏振激光原理》内容简介

与激光原理融合、衔接,本专著总结了激光偏振、特别是近期正交偏振激光器及应用领域的研究成就,是对激光原理和技术较为系统的深化和展宽。第1章,激光原理基本内容概述。第2章,介绍了塞曼激光和四频环形激光器。第3章和第4章,介绍了使气体、Nd:YAG微片固体、半导体等激光器的一个频率变成两个正交线偏振频率、其频差可调的原理;给出了各类正交线偏振激光器的结构。第5章,详细描述了此种激光器的物理特性,包括:频率(差)调谐、功率调谐、偏振旋转、腔调谐中的模竞争,回馈偏振跳变、双折射内腔、双折射外腔激光系统回馈等特性。第6章,讨论了利用激光正交偏振特性将激光器自身“演变”成传感器的原理和技术,如纳米激光器测尺、波片位相延迟测量仪等十几种应用。

本专著引用了最近十几年的研究成就,主要来自中国张书练课题组,部分来自法国 A. Le Floch 课题组和德国 W. Holzappel 的课题组,同时也介绍了美国、英国、日本、瑞士等国科学家的研究。

本专著可供国内外从事激光教学和科学研究的教师、科技人员、科技管理人员、研究生和大专院校本科学生阅读。

本专著由科学院院士周炳琨作序,并由周炳琨院士、金国藩院士、彭堃堃院士、严瑛白教授推荐、2005年1月由清华大学出版社出版。

(著者:张书练)